

① BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3927454 A1

⑳ Aktenzeichen: P 39 27 454.3
㉑ Anmeldetag: 19. 8. 89
㉒ Offenlegungstag: 21. 2. 91

⑤ Int. Cl. 5:
H02 K 19/00
H 02 K 41/03
H 02 K 55/02

DE 3927454 A1

㉓ Anmelder:
Weh, Herbert, Prof. Dr.-Ing., 3300 Braunschweig, DE

㉔ Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Elektrisch erregte Transversalflußmaschine

Die beschriebenen erfindungsgemäßen Vorschläge haben zum Ziel, elektrisch magnetisch erregte Felder bei Synchronmaschinen mit transversalem magnetischen Kreis in solchen Konfigurationen zu ermöglichen, daß höchste Kraftdichten entwickelt werden können. Die Wicklungsform ist dabei im wesentlichen ringförmig und somit in einer Form gewählt, daß ein Minimum an Wicklungsverlusten entsteht. Durch Aufteilung der stromführenden Wicklung sowie durch eine Art doppelseitige Nutzung der Erregung und durch Feldblenden werden wirkungsvolle Maßnahmen zur Erreichung des Ziels dargelegt. Die Anwendung der Hochtemperatur-Supraleiter ergibt zusätzlich günstige Auslegungsbedingungen und erweitert das Einsatzfeld der beschriebenen neuen Maschinen.

DE 3927454 A1

Beschreibung

Die Zielsetzung

Bei Synchronmaschinen ist bekannt, daß die Erzeugung des magnetischen Leerlauffeldes entweder durch Permanentmagnete oder durch in Spulen fließende elektrische Ströme ("elektrisch") erfolgen kann. Für einige Anwendungen haben sich Permanentmagnete zur verlustlosen und gleichzeitig raumsparenden Erregung des magnetischen Feldes einen festen Platz sichern können. Insbesondere bei Anwendung von Hochenergie-Permanentmagneten konnten recht vorteilhaft entworfene Maschinen neu entwickelt werden. Für bestimmte Ausführungen des magnetischen Kreises ist es gelungen, in begrenztem Umfang, auch die Stellbarkeit des magnetischen Feldes durch eine geeignete Überlagerung von elektrisch und permanentmagnetisch erzeugten Feldkomponenten zu verwirklichen.

Es sind jedoch Anwendungsbereiche bekannt, die aus anderen Gründen (Temperatureinfluß oder Preisgründe) den Einsatz von Permanentmagneten ausschließen oder bei denen eine sehr weitgehende Feld-Stellbarkeit gefordert wird. Auch der Fall, daß aus Sicherheitsgründen eine vollständige Entregung durchführbar sein soll, läßt sich bei Anwendung von Maschinen mit Permanentmagnet-Erregung nur schwer verwirklichen.

Die genannten Einsatzbeispiele elektrischer Maschinen stehen jedoch in Verbindung mit der Forderung nach hoher Kraftdichte je Volumeneinheit und möglichst niedrigen Verlusten. Wie in verschiedenen Veröffentlichungen gezeigt wurde, lassen sich besonders bei Anwendung transversal angeordneter Magnetkreise die beiden Zielsetzungen simultan erfüllen. Hierbei sind die Ausführung der Wicklung besonders in der Form von Ringspulen konzentrisch zur Welle und die um die Spule herum transversal geführten magnetischen Kreise die kennzeichnenden Merkmale. Durch die etwa in DE 37 05 089 C2 beschriebene doppelseitige Ankeranordnung lassen sich Kraftdichten von mehr als 100 kN/m² bezogen auf die fließführende Läuferoberfläche erzielen.

Die hier zu beschreibende Maschinenkonfiguration hat zum Ziel, die erwähnten Hauptmerkmale des Transversalflußprinzips, die kreisförmig, konzentrische Ankerspule bzw. eine ihr nahe kommende Form und die quer zur Spule angeordneten magnetischen Kreise zur Grundlage einer elektrisch erregten Maschine zu machen. Hiermit läßt sich zeigen, daß mit einem Minimum an Wicklungsvolumen und einer höchstmöglichen Nutzung des elektrischen Stromes zur Krafterzeugung eine besonders günstige Energiewandlung verwirklicht werden kann. Elektrische Maschinen dieser Art lassen sich im Vergleich zu herkömmlich erregten Synchronmaschinen mit merklich höheren Leistungsdichten, d.h. mit kleinerem Volumen und auch mit niedrigeren Verlusten konzipieren. Ihr Einsatz führt in größerem Umfang zu vorteilhaften Lösungen zu Gunsten des elektrischen Antriebs und ermöglicht gut stellbare elektrische Generatoren mit günstigen Betriebsdaten.

Die Konzeption einer elektrisch erregten Transversalflußmaschine (TF-Maschine) wird durch die Merkmale der Schutzansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung dargelegt. Die Erfindung wird weiter anhand von mehreren Zeichnungen erläutert:

Fig. 1 Schemadarstellung einer elektrisch erregten TF-Maschine

Fig. 2a Elektrisch erregte TF-Maschine mit einem Wicklungsteil im Stator und einem Wicklungsteil im Rotor.

Fig. 2b Elektrisch erregte TF-Maschine mit zwei Teilwicklungen im Stator.

Fig. 3 Elektrisch erregte TF-Maschine mit zwei Teilwicklungen und doppelseitig wirkendem Magnetkreis.

Fig. 4 Elektrisch erregte TF-Maschine mit zwei Teilwicklungen und vier Statoreinheiten, wovon zwei Paare um 90° versetzt sind.

Fig. 5a Wicklungsanordnung für zweisträngige Maschine.

Fig. 5b Wicklungsanordnung für dreisträngige Maschine.

Fig. 6 Anordnung von Permanentmagneten zur Feldschirmung des Zwischenraums der Polelemente.

Beschreibung zur Lösung der Aufgabe

Die Erzeugung des magnetischen Feldes durch in Spulen fließende elektrische Ströme ist bei Synchronmaschinen bekannt. Auch die Anwendung von ringförmigen konzentrischen Spulen zur Erzeugung des (vom Anker erregten) magnetischen Feldes ist bekannt und führt zu vorteilhaften Konfigurationen für elektrische Maschinen. Wird nur eine ringförmige Spule *a* verwendet, Fig. 1, so ergibt sich die Grundform einer Reluktanzmaschine, bei der den Weicheisen-Ankerelementen *S* des Stators *S* und *R* des Rotors in Längsrichtung etwa gleich große Lücken gegenüberstehen. Die Kraftbildung ist damit etwa auf die Hälfte des aktiven Umfangs eingeschränkt. Es ist weiter bekannt, daß hierbei nur anziehende Kräfte (in die Richtung der gezeichneten Stellung) nicht aber abstoßende Kräfte bei Austritt der Rotorlamellen erzeugt werden können. Es kann gezeigt werden, daß die Grenzen der Kraftdichte dieser Maschine durch die Feldanteile im Zwischenraum der Polelemente und durch die mit steigender Luftspaltinduktion eintretende Sättigung des Eisenkreises gegeben sind. Da große Felddichten bei begrenzten Strömen angestrebt werden, empfehlen sich kleine Luftspalte. Dies dient auch dem Ziel kleine Teilungen der Polelemente (Polteilungen) auszuführen. Dies bedingt hohe Betriebsfrequenzen der Ankerströme. In Verbindung mit der durch geringen Luftspalt mitbewirkten hohen Induktivität entstehen jedoch verhältnismäßig große Kommutierungszeiten, die den Einsatz der Maschine für höhere Umfangsgeschwindigkeiten und größere Leistungen beträchtlich behindern. Reluktanzmaschinen, die der bekannten Ausführungsform entsprechen oder verwandt sind, eignen sich deshalb nur wenig zum Einsatz als Energiewandler großer Leistung. Die Ausführung des magnetischen Kreises in transversaler Form und die Anwendung ringförmiger oder weitgehend ringförmiger Wicklungen ergeben hierbei im Vergleich zu normaler Konfiguration begrenzte Vorteile, sind aber durch zusätzliche konfiguratorische Schritte weiter zu verbessern.

Hierzu wird zunächst, wie Fig. 2a darstellt, eine Aufteilung der Wicklung in die Spulen *f* und *a* und der sie speisenden Ströme vorgesehen. Dies dient dem Ziel eine weitgehende Reduktion der Induktivität der Ankerwicklung und dadurch eine drastische Verringerung der Kommutierungszeit zu ermöglichen. Letzteres ist gleichbedeutend mit einer Leistungssteigerung durch die Ausführung höherer Umfangsgeschwindigkeiten und die Ermöglichung einer größeren relativen Zeitphase für die Erzeugung der magnetischen Kräfte.

Besonders zweckmäßig ist eine Aufteilung der Wicklung der Art, daß die Hälfte der maximal notwendigen Stromsumme (Durchflutung) durch eine Spule f erbracht wird, die mit einem zeitlich konstanten Gleichstrom I_f beschickt wird. Die zweite Spule a führt den Wechselstrom i_a , der eine der Rotorgeschwindigkeit entsprechende Frequenz aufweist. Seine Form ist zweckmäßig möglichst rechteckig. Die jedoch in endlicher Zeit erfolgende Kommutierung bewirkt in Abweichung von der Rechteckform einen trapezförmigen Verlauf, sofern ein großer Spannungsüberschuß gegeben ist.

Wird der Strom so aufgeteilt, daß die Gleichstromdurchflutung gleich dem Maximalwert der Wechselstromdurchflutung ist, so bedeutet dies, daß die Wechselstromwicklung im Vergleich zu einer Maschine mit nur einer Wicklung mit geringerer Windungszahl ausgestattet werden kann. Wird bei diesem Vergleich der Maximalwert des Stromes der Wechselstromwicklung konstant gehalten, verringert sich die Windungszahl auf die Hälfte. Die Induktivität geht bei sonst gleichen Verhältnissen hierdurch auf ein Viertel zurück. Bei gleicher für die Kommutierung des Wechselstroms zur Verfügung stehenden Spannung (und gleicher induzierter Spannung) kann damit der mittlere Stromgradient (die Kommutierungsteilheit) auf den vierfachen Wert vergrößert werden. Dies bedeutet, daß die Kommutierungszeit sich im selben Maß verkleinern läßt.

Damit steht auch bei größeren Umfangsgeschwindigkeiten eine für die Krafterzeugung erhöhte mittlere Felddichte zur Verfügung. Die Maschine läßt sich somit für hohe Umfangsgeschwindigkeiten einsetzen und gibt dabei eine erhöhte Leistung ab. Dies gilt im Vergleich zu Maschinen mit nichtunterteilter Wicklung.

Um den Einfluß der Erregerwicklung während der Kommutierung auszuschalten, sind Maßnahmen erwünscht, die dieser Wicklung eine große Induktivität vermitteln. Zu den bekannten Lösungen hierzu gehört, außer der Vorschaltung einer Zusatzinduktivität, die Reihenschaltung mehrerer Erregerwicklungen. Hierbei ist es zweckmäßig, solche Wicklungen in Serie zu schalten, die zu Wechselstromwicklungen mit unterschiedlicher zeitlicher Phasenlage (versetzte Kommutierungszeitpunkte) gehören.

Für Erregerwicklungen die über Spannungssteller gespeist werden, ist eine Aussteuerung der Steller in der Form zweckmäßig, daß der Erregerstrom konstant gehalten wird. Hierzu kann eine Stromregelung eingesetzt werden, die auf dem Vergleich zwischen Ist- und Sollwert des Stromes beruht.

Die Anordnung der beiden Wicklungsteile f und a kann entsprechend Bild 2a so erfolgen, daß die Wicklung f im Rotor R fest mit den Weicheisenelementen Re verbunden ist. Die Stromzufuhr hat dabei z.B. über Schleifringe zu erfolgen. Für die Ausführung der elektrischen Maschine ist die Unterbringung der Wicklung f im feststehenden Teil S , dem Stator, normalerweise günstiger. Diese Ausführungsform ist in Bild 2b skizziert. Der Rotor R enthält dabei nur die passiven Weicheisen-Bau-elemente Re . Er läßt sich besonders günstig auch für hohe Umfangsgeschwindigkeiten auslegen; auf die Anwendung von Schleifringen kann hierbei verzichtet werden.

Mit den beschriebenen Voraussetzungen für die Ausführung einer induktivitätsarmen Wechselstromwicklung kann eine weitere Verbesserung im Sinne der Krafterzeugung durch eine Modifikation der Magnet-

über Fig. 1 eine Verdoppelung der Kraftwirkung, wenn im Zwischenraum der Weicheisenelemente zusätzliche Magnetkreise mit geringem Abstand zueinander angeordnet werden. Das für die Energiewandlung wirksame flußführende Volumen wird hiermit um 100% erweitert, ohne daß der das Feld erzeugende Strom in den Wicklungen f und a vergrößert werden müßte. Fig. 3 zeigt die nun gewählte Anordnung bei der im Wechsel links und rechts der Rückschluß des Feldes über die Rotorlamellen Re' und Re'' erfolgt. Letztere stehen wie bisher jeweils im Abstand von 2τ . Gegenüber Fig. 1 wird die Kraftwirkung und damit die Leistung der Maschine verdoppelt, ohne daß größere Verluste entstehen oder ein erweiterter Querschnitt der Wicklung erforderlich wäre. Die Rotorelemente Re' und Re'' lassen sich in einen gemeinsamen Rotorkörper integrieren.

Die in Fig. 4 im Schnittbild dargestellte Maschine besteht aus vier im wesentlichen gleichartigen Anordnungen, die entsprechend Fig. 3 aufgebaut sind. Die dem Rotor zugeordneten Weicheisenelemente sind als axial durchgehend gezeichnet. Die Statorteile bilden ein mehrsträngiges Drehstromsystem. Es sind je zwei Teilmaschinen A und B bzw. A' und B' , die räumlich nebeneinander liegen, so angeordnet, daß ihre Statoren geometrisch um 180° versetzt sind und mit entgegengesetzt gerichteten Wechselströmen beaufschlagt werden. Die beiden Rotorseiten bilden ein um 90° versetztes zwei-strängiges Drehstromsystem. Die Wechselströme der Statoren sind entsprechend phasenverschoben.

Der Rotor der symmetrisch aufgebauten Maschine benötigt nur eine geringe Eisenmasse; er ist aus der Sicht des magnetischen Kreises massearm ausgeführt. Es werden damit hohe Stellbeschleunigungen (große Kraftdichte, kleine Masse) realisierbar.

Die durch die Fig. 4 beschriebene Maschine ermöglicht im Vergleich zu den bisher bekannten Anordnungen aufgrund des verbesserten magnetischen Kreises und der stark reduzierten Ankerinduktivität sehr viel höhere Leistungsdichte, ohne daß damit eine höhere Belastung der stromführenden Querschnitte verbunden ist.

Es handelt sich bei den beschriebenen Maschinen um vielpolige Anordnungen. Die bei der Beschreibung der Zielsetzung als zweckmäßig erwähnte Wicklungsform, die Ringwicklung in konzentrischer Lage zur Welle, ist dabei als optimale Ausführungsform (minimales Kupfervolumen, minimale Wicklungsverluste) zu betrachten. Um die Ausführung der Maschine mit der Mindestphasenzahl zwei auch für nur zwei nebeneinander liegende Teilmaschinen zu ermöglichen, soll auch eine modifizierte Ringwicklung als vorteilhaft in die Merkmale des Lösungsvorschlags eingebracht werden. In Abwandlung der Wicklungsform von Fig. 4 erscheint eine Variante mit einer Wicklungskonfiguration nach Fig. 5a oder 5b vorteilhaft. Die Maschinenversion 5a geht z.B. aus der Variante Fig. 4 dadurch hervor, daß jedem Statorpaar von Fig. 4 jeweils nur der halbe Statorumfang zugeordnet wird. Um dies zu realisieren erfolgt an den Grenzstellen der jeweiligen Wicklungsstränge, die gegeneinander 90° Phasenverschiebung aufweisen, eine Querverbindung der ringförmigen Wicklungen. Ihre Anordnung bedeutet in der Regel einen Verzicht auf die Ausführung aller sonst möglichen Polelemente und bedeutet gleichzeitig eine begrenzte Störstelle des Maschinenaufbaus. Die dadurch bedingte Reduktion der Wirkungsfläche ist umso geringer, je höher die Polzahl der Maschine ist. Bild 5a zeigt schematisch eine zwei- Bild 5b eine dreisträngige Wicklung

Die wesentlichen Merkmale der einfachen Ringwicklung (ohne Querverbindung) bleiben dabei ersichtlich bestehen.

Eine weitere Effizienzsteigerung der Energiewandlung kann dadurch erreicht werden, daß innerhalb des kraftbildenden Feldbereichs eine Optimierung des Feldverlaufs angestrebt wird. Wie feldanalytische Untersuchungen zeigen, entsteht ein Maximalwert der durch die magnetischen Wirkungen erzeugten Vortriebskraft, wenn der in Vortriebsrichtung bestehende Gradient der magnetischen Energie ein Maximum wird. Die größte mittlere Änderung der magnetischen Energie beim Durchwandern eines Rotorelements unter dem Stator-Polelement wird dann erreicht, wenn das magnetische Feld im Zwischenraum zwischen den Weicheisenelementen gänzlich vermieden wird. In diesem Fall tritt das magnetische Feld nur in dem zwischen Rotor- und Stator-Polelement bestehenden Überdeckungsbereich (dem Bereich konstanten Luftspalts) hindurch. Durch eine Unterdrückung des magnetischen Feldes im Zwischenbereich der Weicheisenelemente läßt sich auch diese Optimierung verwirklichen. Die realisierbaren Eingriffsmöglichkeiten mit Hilfe verlustarm wirkender Feldblenden, die Zwischenräume abzuschirmen sind sehr begrenzt.

Im vorliegenden Fall wird der Zwischenraum in nur jeweils einer Feldrichtung durchsetzt. Dies gibt für die Abschirmung die Möglichkeit Permanentmagnete als Blenden einzusetzen. Sie lassen sich z.B. wie Bild 6 zeigt, an den Flanken der Polelemente luftspaltnah in dünner Schicht anbringen. Es kann so recht weitgehend die gewünschte Feldunterdrückung im Zwischenraum erzielt werden. Die dafür notwendige Masse der Permanentmagnete liegt dabei weit unter derjenigen, die für die Erzeugung des Leerlaufeldes bei Synchronmaschinen benötigt wird.

Wie sich durch Untersuchungen der Feldverhältnisse zeigen läßt, besteht bei der Anwendung von Feldblenden der Vorteil, daß wie erwähnt, die erzielbaren Kräfte nennenswert, etwa um einen Faktor 2 oder mehr gesteigert werden können. Da die Feldunterdrückung im Zwischenraum zu einer starken Verminderung des gesamten Magnetflusses führt, ist damit auch eine entsprechende Verringerung der Ankerinduktivität verbunden. Dies wirkt in gleicher Weise vorteilhaft wie die weiter oben beschriebene Einführung der Unterteilung der Wicklungen. Auch hierbei lassen sich weitere Verringerungen der Kommutierungszeit und entsprechende Leistungssteigerungen erreichen.

Die Verringerung des magnetischen Flusses bei Anwendung von Feldblenden führt zu einer Entlastung der Weicheisenelemente im Sinne einer verringerten Feldichte. Dieser Umstand läßt sich nutzen um mit Hilfe vergrößerter Wicklungsströme höhere Felddichten im Luftspalt zu realisieren, ohne daß die Magnetkreiselemente größere Abmessungen erhalten. Wie die Untersuchungen zeigen, beträgt die Erhöhung der Nutzfelddichte bis zum Wiedererreichen der Sättigungsgrenze etwa 100%. Unter Berücksichtigung des quadratischen Zusammenhangs zwischen Vortriebskraft und Felddichte wird hiermit ein zusätzlicher Kraftzuwachs etwa um den Faktor 4 erreicht.

Es sei weiter darauf hingewiesen, daß sich supraleitendes Material grundsätzlich gut zum Einsatz als Feldblende bei geringen Verlusten (im Wechselfeld) eignet. Dies setzt Vorkehrungen über die Wahl des Materials und den Aufbau der Leiter, ebenso wie für die Art der Kühlung voraus.

Es soll darauf hingewiesen werden, daß die Anwendung von Permanentmagneten zur Unterdrückung der Zwischenraumfelder in Rotor und Stator etwa gleich große Wirkungen hervorruft. Bei Beschränkung der Feldkonditionierung auf nur ein Maschinenteil ist nur etwa die Hälfte der bei vollständiger Unterdrückung erzielbaren Effekte zu erwarten.

Die Heranziehung der beschriebenen Verfahren kann zweckmäßig auch in Kombination erfolgen. Es werden hierdurch beträchtliche Steigerungen der maximalen Kraftdichte bei minimalen Verlusten der Ankerwicklung und unter sonst günstigen betrieblichen Voraussetzungen wie z.B. einer kleinen Ankerinduktivität erreicht. Letzteres ist die Voraussetzung auch für die Anwendung zufriedenstellender Auslegungsbedingungen für die mit der Maschine gekoppelte Leistungselektronik.

Die geometrisch einfache Ringwicklung der Maschine eignet sich auch zur Ausführung für höhere Spannungen mit einer entsprechend ausgeführten Wicklungsisolation.

Weiter ist durch die Wicklungsform, auch bei Ausführung der Querverbindungen, die Möglichkeit gegeben, zur Wärmeabfuhr besondere Kühlungsmaßnahmen vorzusehen. Eine direkte Leiterkühlung oder eine Badkühlung, wie sie nach Einbringung der Wicklung in einen Kühlmittelbehälter (Kryostat) gegeben ist, erscheint gut durchführbar. Diese Kühltechnik wird insbesondere auch bei Anwendung der Supraleiter herangezogen. Der Einsatz sehr verlustarmer elektrischer Leiter ergibt Vorteile für den Wirkungsgrad der Maschine, aber auch für deren Auslegung und den Einsatz bei großen Maschineneinheiten. Eine große Stromdurchflußung der Wicklungen ergibt die Möglichkeit, mit größeren Luftspalten und größeren Polteilungen sowie den damit verbundenen kleineren Frequenzen Maschinen mit großen Abmessungen zu realisieren. Durch die Anwendung von sogenannten Hochtemperatur-Supraleitern, deren Kühlmittel z.B. flüssiger Stickstoff bei einer Temperatur von 77 K ist, ergeben sich deutlich vorteilhaftere Bedingungen auch bereits für den Bau von Maschinen mittelgroßer Leistung.

Weiter ist zu erwähnen, daß die hier vornehmlich in Bezug zu rotierenden Maschinen beschriebenen Lösungen, sinngemäß auf lineare Energiewandler, wie z.B. Linearmotoren übertragen werden können.

Patentansprüche

1. Elektrische Maschine bestehend aus einem bewegten Teil und einem feststehenden Teil, wobei der magnetische Fluß in Weicheisen-Polelementen geführt wird und diese senkrecht zur Bewegungsrichtung angeordnet sind, wobei die Wicklung mit ihren magnetisierenden Teilen in Längsrichtung verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wicklung in zwei Spulenteile aufgeteilt ist, wobei in einer Teilwicklung im wesentlichen ein Gleichstrom und in der anderen Wicklung ein Wechselstrom geführt wird.

2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselstromdurchflußung in ihrer Amplitude der Größe der Gleichstromdurchflußung entspricht.

3. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Gleichstromwicklung durch zusätzliche Maßnahmen mit einer vergrößerten Induktivität ausgestattet wird.

4. Elektrische Maschine nach Ansprüchen 1 und 2

dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichstrom durch Anwendung eines Stromstellers zur Speisung der Wicklung konstant gehalten wird.

5. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Gleich- und Wechselstromwicklung gemeinsam im feststehenden Teil untergebracht und der Rotor passiv ausgeführt ist. 5

6. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß im Stator jeder Polteilung ein von der gemeinsamen Wicklung magnetisiertes Polelement zugeordnet ist, das gegenüber dem Nachbarelement um 180° gedreht ist. 10

7. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß durch versetzte Anordnung des Stators gegenüber den Rotorelementen mehrsträngige (Drehstrom) Systeme gebildet werden, die auf einen gemeinsamen Rotor wirken. 15

8. Elektrische Maschine nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, daß nebeneinanderliegende Statoranordnungen paarweise um 180° versetzt sind und mit entsprechend phasenverschobenen Strömen gespeist werden. 20

9. Elektrische Maschine nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, daß am Umfang mehrere um 180° phasenversetzte Statorpaare angeordnet sind deren Wicklungen zu gemeinsamen Spulen Querverbindungen erhalten. 25

10. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß Permanentmagnete zur Feldunterdrückung in Zwischenbereichen der Rotor-Polelemente verwendet werden. 30

11. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß Permanentmagnete zur Feldunterdrückung in Zwischenräumen der Stator-Polelemente verwendet werden. 35

12. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß Permanentmagnete in Rotor und Stator zur Unterdrückung der Zwischenraumfelder verwendet werden. 40

13. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklung aus supraleitendem Material hergestellt ist und mit einer entsprechenden Kühleinrichtung betrieben wird.

14. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Feldblenden aus supraleitendem Material bestehen und mit einer entsprechenden Kühlung betrieben werden. 45

15. Elektrische Maschine nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die Wicklung als auch die Feldblenden aus supraleitendem Material ausgeführt sind und mit einer entsprechenden Kühleinrichtung versehen werden. 50

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

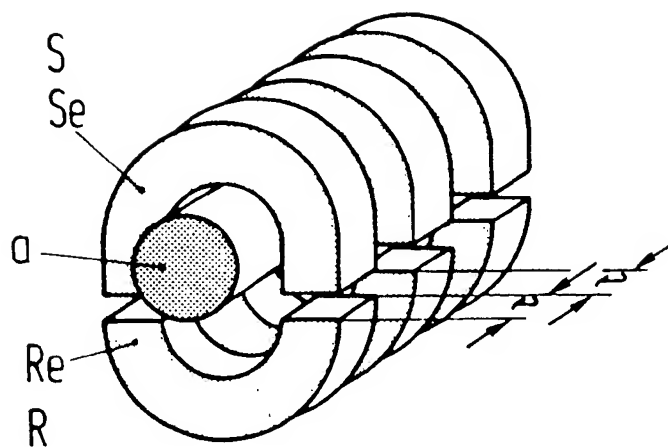


Fig. 1

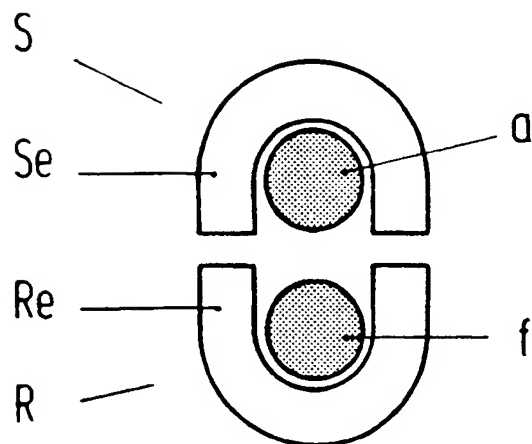


Fig. 2a

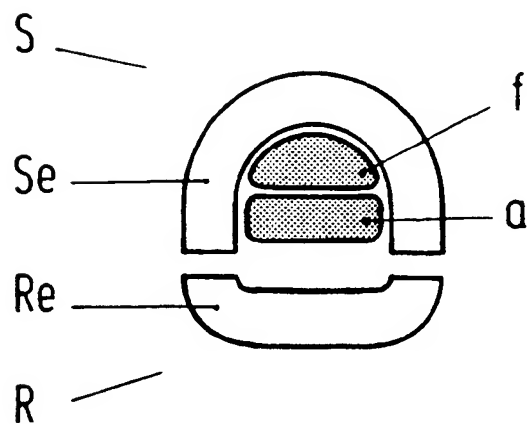


Fig. 2b

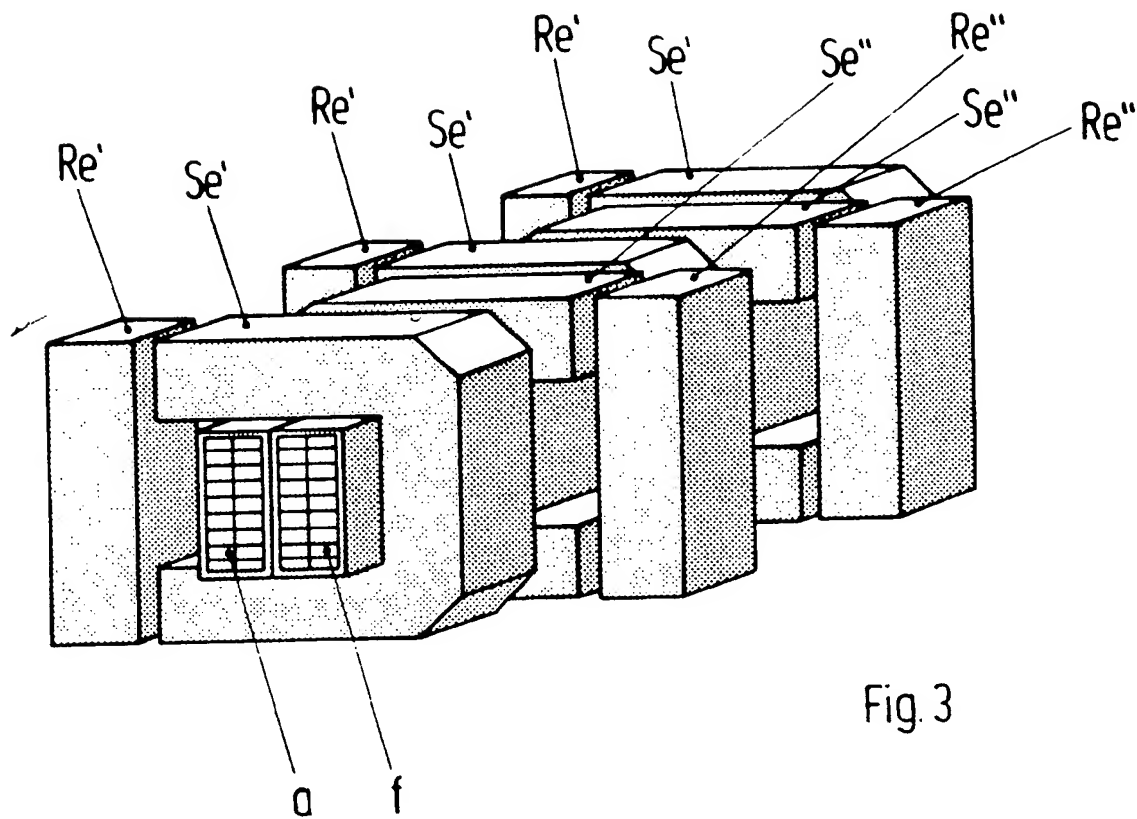
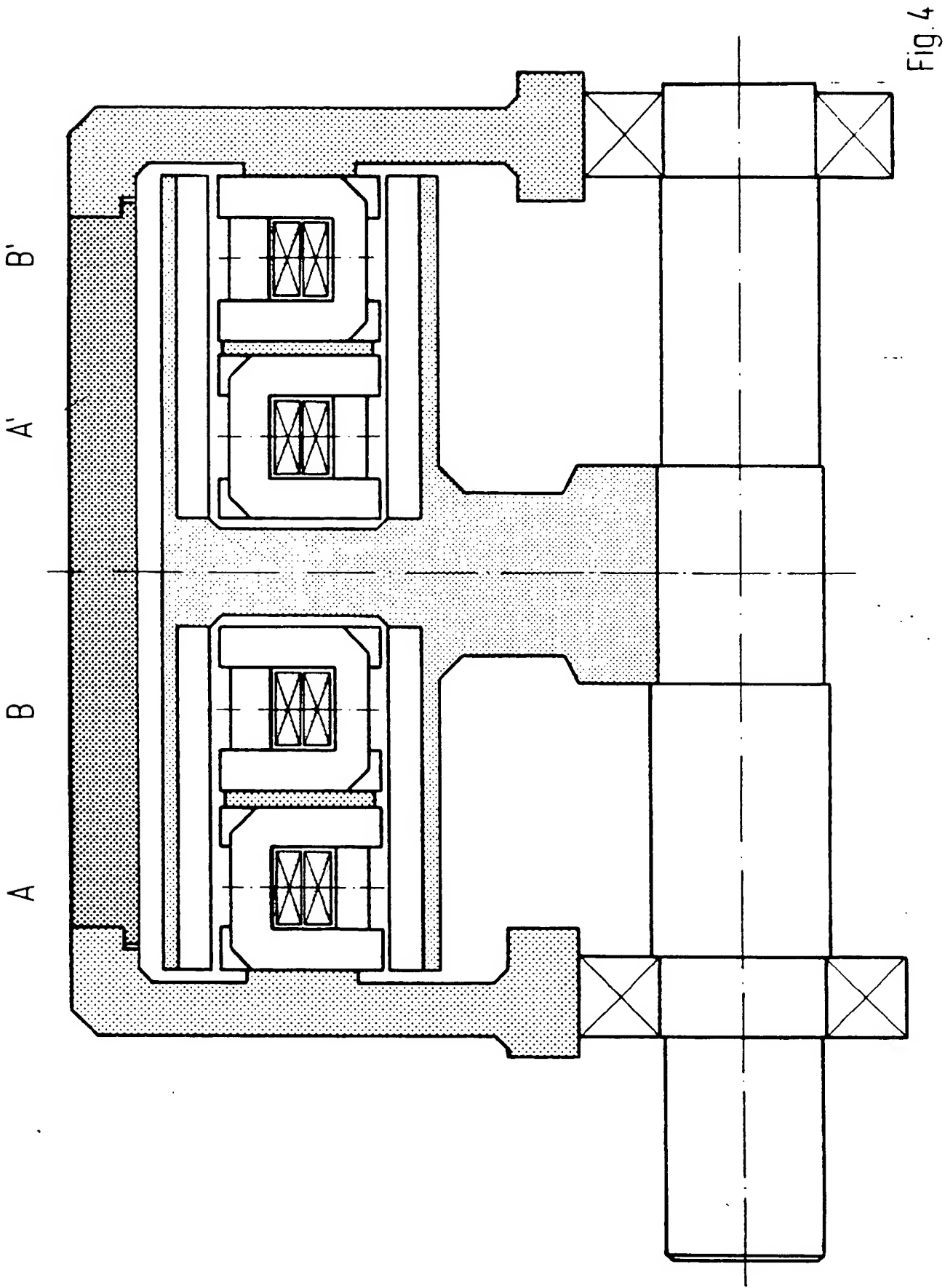


Fig. 3

Nr. 39:
Int. Cl. 2:
Offenlegungstag:

DE 39 27 454 A1
H 02 K 19/00
21. Februar 1991



$$m = 2$$

Fig. 5a

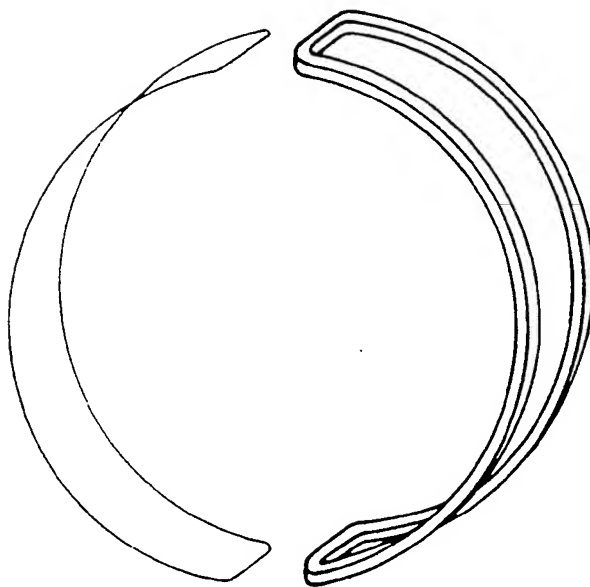
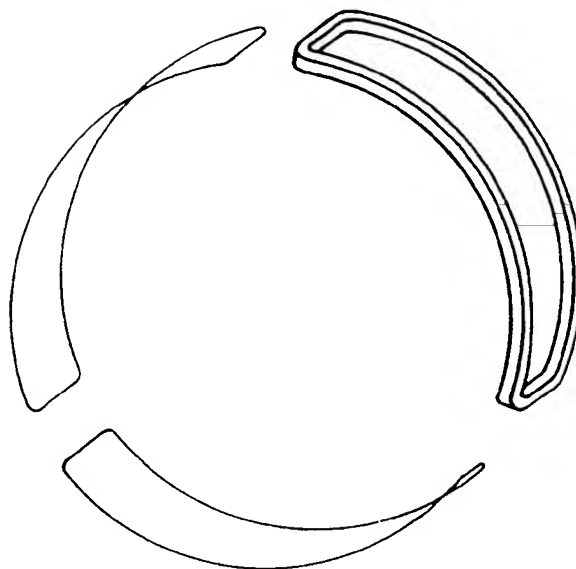


Fig. 5b

$$m = 3$$



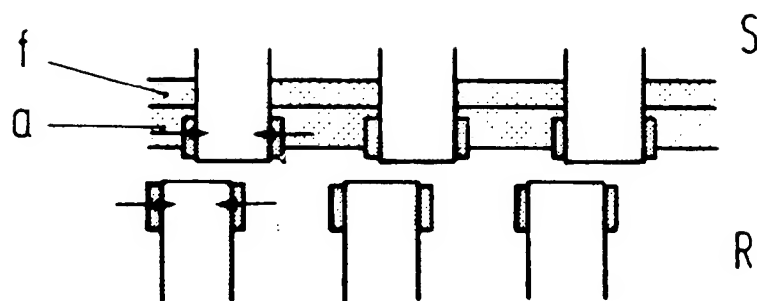


Fig. 6